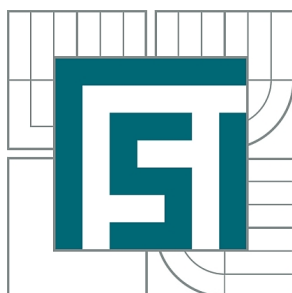




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

BEZPEČNOSTNÍ ASPEKTY SKLADOVÁNÍ KAPALNÝCH UHLOVODÍKŮ

SAFETY ASPECTS OF LIQUID HYDROCARBON STORAGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB BAŘINA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

LEISAN MUKHAMETZIANOVA

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jakub Bařina

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Bezpečnostní aspekty skladování kapalných uhlovodíků

v anglickém jazyce:

Safety aspects of liquid hydrocarbon storage

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Problematika skladování kapalných uhlovodíků je velmi závažná, je významné se věnovat identifikaci významných nebezpečí a prevenci rizik spojených s provozem. Bakalářská práce je zaměřena jednak na stránku legislativní (technické a bezpečnostní předpisy pro skladování), tak na stránku praktickou (rizika z pohledu úniku do prostředí, hoření, výbuchu a ohrožení lidského zdraví).

Cíle bakalářské práce:

- Rešerše legislativních předpisů v oblasti bezpečnostních požadavků na skladování kapalných uhlovodíků,
- Identifikace nebezpečí spojených se skladováním,
- Návrh preventivních opatření pro minimalizaci rizik.

Seznam odborné literatury:

- Zákon 59/2006 Sb. o prevenci závažných havárií
- Vyhláška č. 246/2001 Sb. o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci)
- ČSN 65 0201 Hořlavé kapaliny - Prostory pro výrobu, skladování a manipulaci

Vedoucí bakalářské práce: Leisan Mukhametdzianova

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 6.11.2012



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá bezpečnostními aspekty skladování kapalných uhlovodíků. Cílem práce je provést rešerši právních předpisů. Dále zjistit možný charakter nehod, identifikovat nebezpečí a stanovit vhodná preventivní opatření. Praktická část je zaměřena na výpočet havarijních zón a analýzu společenského rizika.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kapalné uhlovodíky, skladování, havarijní zóny, riziko, preventivní opatření.

ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on safety aspects of liquid hydrocarbons's storage. The main goal is to perform a literature search for legal regulations. Then find out possible character of accidents, identify danger and determine precaution. Practical part is aimed on calculation of emergency zones and analysis of social risk.

KEYWORDS

Liquid hydrocarbons, storage, emergency zones, risk, precaution



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bařina, J. *Bezpečnostní aspekty skladování kapalných uhlovodíků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Leisan Mukhametzianova.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Leisan Mukhametzianové a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2013

.....

Jakub Bařina



PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Leisan Mukhametzianové, za pomoc a poskytnutí informací potřebných pro zpracování bakalářské práce.



OBSAH

Úvod	9
1 Kapalné uhlovodíky	10
1.1 Jejich vlastnosti a použití	10
2 Legislativní požadavky na skladování	11
2.1 Rozdělení hořlavých kapalin	11
2.2 Klasifikace prostředí s nebezpečím výbuchu	12
2.3 Jímky	12
2.4 Nádrže	13
2.4.1 Kontejnery	15
2.4.2 Potrubní rozvody a armatury	15
2.5 Navrhování výrobních a skladových prostorů	16
2.6 Specifické požadavky na skladové prostory	18
2.7 Větrání výrobních a skladových prostorů	18
3 Možná nebezpečí a jejich následky	21
3.1 Obecná procesní nebezpečí	21
3.2 Speciální procesní nebezpečí	21
3.3 Rozvoj havárie při úniku NL do volného prostoru	22
3.4 Rozvoj havárie při úniku NL do vnitřního (uzavřeného) prostoru	23
3.5 Charakter a důsledky nehod	24
4 Praktická část	25
4.1 Vymezení havarijní zóny	25
4.1.1 Stanovení havarijní zóny – příklad	25
4.2 Určení společenského rizika	28
4.2.1 Odhad následků havárie – příklad	28
4.2.2 Odhad pravděpodobnosti havárie - příklad	29
5 Opatření k zábránění vzniku havárií a nehod	30
5.1 Opatření k zábránění vzniku výbušné směsi	30
5.2 Opatření k zábránění iniciace výbuchu	30
5.3 Zásady bezpečného zacházení s nebezpečnými (hořlavými) látkami	31
5.3.1 Za běžného provozu	31
5.3.2 V případě vzniku mimořádné události	32
5.4 Základní principy bezpečnostních opatření – doporučení	33
Závěr	34
Seznam použitých zkratk a symbolů	36



ÚVOD

K stálému rozvoji průmyslu a jeho rozšiřování neodmyslitelně patří i nárůst počtu nehod a významných havárií. Tyto události mnohdy způsobily značné škody a ztráty na životech. Proto je důležité správně odhadnout rizika a navrhnout odpovídající zabezpečení, které by bylo schopno co nejúčinněji zabránit možné havárii.

Kapalné uhlovodíky jistě patří mezi významné zdroje havárií s těmi nejtěžšími následky. Proto je tato problematika velmi důležitá a je třeba se jí zabývat. V první řadě se musíme poučit se z chyb let minulých a nedopustit jejich opakování. Lze to uskutečnit návrhem vhodných legislativních pravidel a jejím striktním dodržováním. Nejlepší variantou je jistě předcházení haváriím bez jejího uskutečnění v minulosti. Ke správné analýze rizik lze použít metody, s jejichž pomocí určíme pravděpodobnost havárie, spolehlivost systému apod., a díky kterým jsme schopni snížit riziko ohrožení na minimum.

Tato bakalářská práce je zaměřena na legislativní rešerši a sumarizaci podmínek bezpečného skladování kapalných uhlovodíků. Dále se zabývá identifikací možných rizik a možnostmi dopadů na život člověka v případě havárie. Praktická část je soustředěna na stanovení havarijní zóny a analýzu společenského rizika pro různé druhy nebezpečných látek. Dalším cílem je určit optimální požadavky na prevenci nehod sestávající ze zodpovědného chování osob přicházející do styku s kapalnými uhlovodíky a bezpečnostně - technickými pravidly pro zajištění bezpečného chodu firem jakkoli se zabývajících kapalnými uhlovodíky samotnými i jejich více či méně nebezpečnými produkty.



1 KAPALNÉ UHLOVODÍKY

1.1 JEJICH VLASTNOSTI A POUŽITÍ

Uhlovodíky jsou nejjednodušší organické sloučeniny, které obsahují ve svých molekulách pouze atomy uhlíku a vodíku. [10]

Dělíme je jednak [10] :

- a) podle tvaru uhlíkatého řetězce na acyklické a cyklické,
- b) podle typu vazeb mezi atomy uhlíku na nasycené (mezi atomy C pouze jednoduché vazby) a nenasycené (násobné vazby mezi atomy C), kde zvláštní skupinu „nenasycených“ cyklických uhlovodíků tvoří uhlovodíky aromatické.

Jejich skupenský stav závisí na počtu uhlíků (Uhlovodíky C1 – C4 jsou plynny, C5 – C16 kapalné a od C17 tuhé látky). Jsou nerozpustné ve vodě, rozpustné v nepolárních rozpouštědlech, mají menší hustotu než voda, jsou hořlavé. [10]

Zdrojem uhlovodíků je ropa, zemní plyn a černouhelný dehet. Z ropy a černouhelného dehtu se uhlovodíky nebo jejich směsi získávají tzv. frakční destilací. Při tomto typu destilace se dělí směs látek na jednotlivé podíly na základě rozdílného bodu varu. Z ropy se tak získává řada užitečných produktů jako pohonné hmoty, barviva a rozpouštědla. [10]

Kapalné uhlovodíky se skladují ve speciálně navržených, k tomuto účelu určených nádržích (nadzemních, podzemních), případně mobilních kontejnerech a nádobách. Kvůli své hořlavosti a výbušnosti směsí, tvořených při jejich odpařování se vzduchem, představují zdroj rizika jak pro podnik, tak pro obyvatelstvo. [10]

Příklady významných zástupců [10]:

- pohonné hmoty,
- zkapalněný LPG (zemní plyn),
- cyklohexan C_6H_{12} ,
- benzen C_6H_6 ,
- naftalen ($C_{10}H_8$),
- toluen ($C_6H_5CH_3$),
- styren.



2 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA SKLADOVÁNÍ

2.1 ROZDĚLENÍ HOŘLAVÝCH KAPALIN

Za hořlavé kapaliny se považují chemické látky nebo jejich směsi s definovaným bodem vzplanutí, které jsou při běžných teplotách výskytu kapalně, a lze u nich stanovit bod hoření. Pokud u hodnocené kapaliny nebyla prověřena možnost stanovení bodu hoření, považuje se za hořlavou kapalinu. [1]

Hořlavé kapaliny se třídí podle bodu vzplanutí do následujících tříd nebezpečnosti (dále jen „tříd“) [1]:

Tabulka č. 2.1: Třídy nebezpečnosti hořlavých kapalin.

Třída nebezpečnosti	Bod vzplanutí [°C]
I	do 21 včetně
II	od 21 do 55 včetně
III	od 55 do 100 včetně
IV	více než 100

Hořlavé kapaliny, u kterých nebyl prokazatelně stanoven bod vzplanutí a kapaliny II. a III. třídy nebezpečnosti, které jsou při výrobě, zpracování a skladování zahřívány na teplotu bodu vzplanutí nebo vyšší, se považují za hořlavé kapaliny I. třídy nebezpečnosti. Hořlavá kapalina IV. třídy nebezpečnosti se posuzuje jako kapalina III. třídy nebezpečnosti v případě, že při výrobě, zpracování, případně skladování zahřívána na teplotu vzplanutí nebo vyšší, nebo když jsou na teplotu přesahující 50 % teploty vzplanutí zahřívány materiály (zařízení), se kterými kapalina může přijít do styku. Pokud se v jednom prostoru vyskytují hořlavé kapaliny různých tříd, stanoví se výsledné zařazení podle nejvyšší třídy nebezpečnosti hořlavé kapaliny. [1]



2.2 KLASIFIKACE PROSTŘEDÍ S NEBEZPEČÍM VÝBUCHU

Prostředí s nebezpečím výbuchu lze klasifikovat do 3 zón dle tabulky č. 2.2:

Tabulka č. 2.2: Nebezpečná prostředí [3].

Zóna0:
Prostor, ve kterém je výbušná směs plynu se vzduchem přítomna stále nebo se vyskytuje v dlouhých periodách
Zóna1:
Prostor, ve kterém může vzniknout výbušná směs plynu se vzduchem za běžného provozu
Zóna2:
Prostor, ve kterém nemůže výbušná směs plynu se vzduchem za běžného provozu vzniknout nebo může vzniknout pouze na krátké období.

2.3 JÍMKY

Výrobní prostory a sklady hořlavých kapalin musí být vybaveny záchytnými jímkami trvale napojenými na havarijní jímky. U otevřených technologických zařízení se jímky zřizují v místech možného úniku hořlavých kapalin v důsledku netěsnosti, např. pod armaturami a spoji. Musí být z nehořlavých hmot (kromě těsnících materiálů nebo výplní případných dilatací), nepropustných a odolných proti chemickým účinkům hořlavých kapalin a musí být navrženy na předpokládaný hydrostatický tlak. Potrubí ze záchytných do havarijních jímek musí mít trvale účinné kapalinové uzávěry (uzpůsobené proti prošlehnutí plamene) a nesmí mít uzavírací armatury znemožňující samočinný odtok hořlavých kapalin. [1]

Dno havarijní jímky musí být vyspádováno do sběrné jímky, umístěné mimo havarijní jímky. Musí být zabezpečeny proti průniku srážkové a podzemní vody. Nesmějí mít spodní výpusť a být přímo připojeny na veřejnou kanalizaci, pouze na kanalizaci k tomu určenou, např. chemickou. [1]

Jímky se dimenzují na největší objem jedné nádrže či zařízení svedeného do jímky. Pokud je záchytná jímka umístěna mimo jímku havarijní, musí být navržena nejméně na 10 % objemu hořlavých kapalin, který má zachytit. V případě užití stabilního či polostabilního hasicího zařízení započítán i objem hasicích prostředků, případně musí být umožněno odpouštění zachycené vody. [1]

U skladu hořlavých kapalin s kontejnery nebo přepravními obaly a se společnou havarijní jímkou musí její objem odpovídat nejméně objemu největšího kontejneru nebo přepravního obalu, nejméně však [1]:

- 10 % objemu hořlavých kapalin, jejichž celková kapacita je do 100 m³;
- 3 % objemu hořlavých kapalin, nejméně však 10 m³, pokud celková kapacita je od 100 m³ do 1 000 m³,
- 2 % objemu hořlavých kapalin, nejméně však 30 m³, pokud celková kapacita je větší než 1 000 m³.



Havarijní jímka vně stavebního objektu může sloužit pro více požárních úseků, ale nesmí být zdrojem šíření požáru. Jímky musí být řešeny tak, aby při poruše těsnosti nádrže nedošlo k rozstříku hořlavých kapalin mimo jímku. Tento požadavek lze splnit [1]:

- dodržením vzdálenosti vnitřní stěny havarijní jímky od pláště nádrže rovné nejméně 0,6 násobku rozdílu výšky nádrže a výšky stěny jímky,
- zařízením, které zabraňuje rozstříku hořlavých kapalin (zástěna dostatečné výše a pevnosti),
- izolací nádrže, která omezí rozstřík hořlavé kapaliny.

Při určení požárního rizika se předpokládá odhořívání povrchové vrstvy na vymezené ploše záchytných či havarijních jímek. Nesmí dojít k rozlití mimo plochu požárního úseku, a to v jakékoliv fázi požáru. Plocha havarijní jímky má být co nejmenší. U nadzemních nádrží nesmí být plocha jedné oddělené sekce jímky větší než 2 500 m² včetně půdorysné plochy nádrží. Záchytnou nebo havarijní jímku uzavřeného skladu může tvořit vhodně upravená podlaha místnosti (nepropustná, zvýšené sokly stěn, prahy). Pokud je v takové podlahové jímce umístěno více nádrží, musí objem jímky odpovídat celkové kapacitě nádrží, kontejnerů či přepravních obalů podle tabulky č. 2.3 [1]:

Tabulka č. 2.3

Objem podlahové jímky [%] celkového objemu skladovaných hořlavých kapalin zajišťovaných jednou jímkou				
Počet nadzemních nádrží:				Kontejnery a přepravní obaly:
1	2	3	4 a více	
100	70	50	40	20
POZN.	Objem jímky je vždy alespoň stejný, jako je objem největší nádrže, kontejneru a přepravního obalu.			

Havarijní jímky by měly být umístěny v jedné řadě, jinak musí být zřízena přístupová komunikace z obou delších stran každé řady jímek, široká nejméně 3 m. Celková půdorysná plocha havarijních jímek nádrží, kontejnerů a přepravních obalů, sdružených do jedné skupiny (požárního úseku), nesmí být větší než 15 000 m² a samotný požární úsek. [1]

Havarijní jímky jednotlivých požárních úseků musí mít mezi sebou požadované odstupové vzdálenosti nebo být navzájem odděleny stínící stěnou se zvýšenou požární odolností. Výška této stěny musí být alespoň 0,5 h_u (výška požárního úseku). Vzdálenost mezi touto stěnou a nádrží musí být nejméně 1,0 m. Nejmenší dovolená vzdálenost mezi nadzemní nádrží s hořlavou kapalinou a nádrží s nehořlavou kapalinou je 0,6 m. [1]

2.4 NÁDRŽE

Nádrže a přepravní obaly musejí být zhotoveny z materiálů odolných proti chemickým účinkům hořlavých kapalin, pro které jsou určeny, musí být navrženy na předpokládané provozní zatížení a musí splňovat všeobecné požadavky na ochranu před účinky statické elektřiny. [1]



Skladovací nadzemní nádrže pro hořlavé kapaliny I. a II. třídy nebezpečnosti (kromě dvouplášťových) musí být chráněny proti účinkům slunečního záření (např. reflexním nátěrem, izolací, chlazením střechy a pláště vodou, nádrže ze dřeva a plastů odolných proti UV záření) nebo musí být umístěny v částečně uzavřených skladech. Nádrže s nízkovroucí kapalinou musí vždy tvořit samostatný požární úsek. [1]

Skladovací nádrže musí [1]:

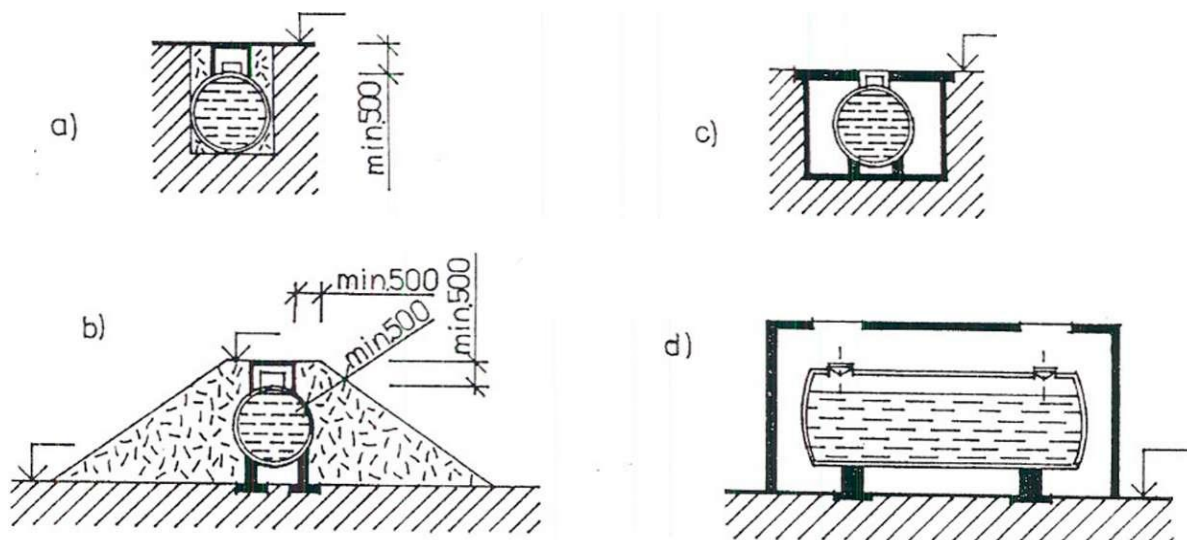
- a) být chráněny proti korozi,
- b) mít zařízení pro měření výšky hladiny hořlavé kapaliny v nádrži,
- c) mít zařízení zabezpečující nádrž proti přeplnění a zařízení pro signalizaci nejvyšší dovolené hladiny hořlavé kapaliny,
- d) mít větrací potrubí, opatřené zařízením zabraňujícím prošlehnutí plamene do nádrže (Jde například o protiexplozivní pojistky nebo kapalinové uzávěry. Pokud nevylučují možnost zamrznutí, musí být vybaveny ohřevem. Nevyžadují se u kapalin III. a IV. třídy nebezpečnosti, a kapalin všech tříd nebezpečnosti, pokud jsou nádrže zaplněny inertním plynem.), pro hořlavé kapaliny I. a II. třídy nebezpečnosti musí být větrací potrubí upraveno tak, aby umožnilo zpětné jímání par,
- e) být konstrukčně upraveny tak, aby bylo umožněno bezpečné odstranění kalu a vody,
- f) mít u ohříváných nebo chlazených nádrží instalováno zařízení pro průběžné měření teploty se signalizací nejvyšší dovolené teploty,
- g) mobilní skladovací nádrže musí být opatřeny pojistným zařízením, zabraňujícím úniku v případě převrácení.

Tabulka č. 2.4: Vzdálenost mezi nádržemi [1].

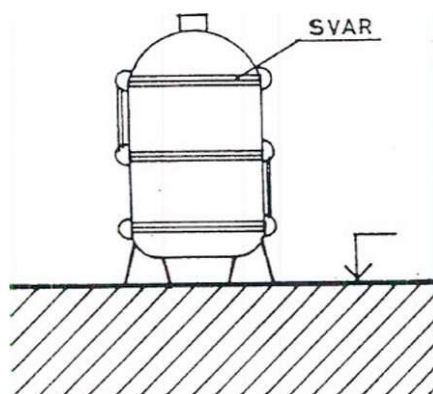
Typ nádrže	Nejmenší vzdálenost mezi dvěma nádržemi
Nadzemní nádrže	$1/3 \cdot (\varnothing d_1 + \varnothing d_2)$; min. 1 m
Nádrže s plovoucí střechou	$1/4 \cdot (\varnothing d_1 + \varnothing d_2)$; min. 0,6 m
Nádrže zapuštěny po horní okraj na úroveň okolního terénu	$1/4 \cdot (\varnothing d_1 + \varnothing d_2)$; min. 0,6 m

Dvouplášťová nádrž a místně dvouplášťová nádrž pro hořlavé kapaliny musí být umístěny na zpevněný a nepropustný podklad, vyspádovaný do sběrné jímky. Nesmí mít spodní výpustní otvor a meziplášťový prostor těchto nádrží musí být kontrolovatelný na nepropustnost. [1]

U nádrží uvnitř stavebního objektu musí být vzdálenost stěny objektu od pláště nádrže s hořlavými kapalinami nejméně 0,6 m. Tato šířka musí být zajištěna i v místech jiných zařízení a konstrukcí (např. u sloupů, žebříků, potrubních vedení apod.). Tato šířka nemusí být dodržena u dvou plášťových nádrží a u nádrží s konzumním lihem a lihovinami o objemu do 5 m³. [1]



Obrázek č. 2.4.1: Podzemní a zastavěné nádrže [1].



Obrázek č. 2.4.2: Místně dvouplášťová nádrž [1].

2.4.1 KONTEJNERY

Kontejnery musí mít [1]:

- a) odvětrávací otvor opatřený pro hořlavé kapaliny I. a II. třídy nebezpečnosti zařízením zabráňujícím prošlehnutí plamene do kontejneru,
- b) zařízení pro měření výšky hladiny,
- c) uzávěry na plnicím a vyprazdňovacím potrubí,
- d) pojistné zařízení, zabráňující úniku obsahu z kontejneru, pokud dojde k jeho převrácení.

2.4.2 POTRUBNÍ ROZVODY A ARMATURY

Potrubní rozvody hořlavých kapalin mohou být vedeny také po vnějším líci střešního pláště či nad střešním pláštěm výrobních objektů jen v případě, že střešní plášť je požárně uzavřený a vykazuje požární odolnost. [1]

Konstrukce venkovních potrubních rozvodů (potrubní mosty) hořlavých kapalin nemusí vykazovat požární odolnost kromě případů, kdy by jejich zřícením při požáru došlo k porušení stability nebo celistvosti okolních objektů nebo technologických zařízení. [1]



2.5 NAVRHOVÁNÍ VÝROBNÍCH A SKLADOVÝCH PROSTORŮ

Dle druhu a množství skladované látky se určí ekonomické riziko a navazující požadavky, zejména mezní rozměry požárních úseků, rozsah užití požárně bezpečnostních zařízení apod. [1]

V jednom požárním úseku hlavního skladu mohou být uloženy hořlavé kapaliny v množství nejvýše [1]:

Tabulka č. 2.5: Maximální skladovaná množství

Hlavní sklad hořlavých kapalin	Třída nebezpečnosti			Nízkovroucí kapaliny
	I.	II.	III. a IV.	
a) v přepravních obalech	50 m ³	200 m ³	2 000 m ³	1 m ³
b) v kontejnerech nebo mobilních nádržích	500 m ³	2 000 m ³	20 000 m ³	1 m ³
c) ve skladovacích nádržích	5 000 m ³	20 000 m ³	neomezeno	50 m ³
V jednom požárním úseku provozního skladu může být nejvýše 100 m ³ hořlavých kapalin všech tříd nebezpečnosti, kromě nízkovroucí kapaliny; v případě přepravních obalů a I. třídy nebezpečnosti hořlavých kapalin je mezní množství pouze 50 m ³ .				

Hlavní sklady nesmějí být umístěny v nevýrobních objektech, musí být ve výrobním objektu umístěny v 1. nadzemním podlaží, s alespoň jedním východem na volné prostranství. Případné komunikační propojení hlavního skladu s výrobním prostorem musí procházet úsekem bez požárního rizika. [1]

Výrobní prostor s hořlavými kapalinami může tvořit jeden požární úsek s příručním skladem, pokud celkové množství současně se vyskytujících hořlavých kapalin všech tříd nebezpečnosti, kromě nízkovroucích kapalin, je v tomto požárním úseku [1]:

- u nevýrobních objektů do 2 m³,
- u výrobních objektů do 7 m³.

Provozní a příruční sklady je možno umístit v nevýrobních objektech při dodržení těchto podmínek [1]:

- hořlavé kapaliny jsou uloženy pouze v přepravních obalech s využitelnými objemy nejvýše 1 m³,
- musí být zabráněno nekontrolovatelnému rozlití hořlavých kapalin mimo vymezený prostor skladu, nejvýše v rozsahu požárního úseku,
- příruční a provozní sklady mohou být umístěny v objektech s výškou $h < 22,5$ m, a to v 1. nadzemním nebo v 1. podzemním podlaží,
- celkový objem skladovaných hořlavých kapalin I. třídy nebezpečnosti nesmí přesáhnout 5 m³ nebo 0,25 m³ nízkovroucí hořlavé kapaliny.



Provozní sklady mají limitován celkový objem skladovaných hořlavých kapalin II. až IV. třídy nebezpečnosti takto [1]:

- v objektech s výškou $h = 0$ nejvýše 100 m^3 ,
- v objektech s výškou $h < 9,0 \text{ m}$ nejvýše 50 m^3 ,
- v objektech s výškou $h < 22,5 \text{ m}$ nejvýše 10 m^3 .

Veškeré sklady hořlavých kapalin a výrobní prostory s plochou větší než 100 m^2 ve výrobním objektu, musí tvořit samostatný požární úsek. Výrobní prostor s plochou větší než 50 m^2 , umístěný v nevýrobním objektu, musí také tvořit samostatný požární úsek. Smí být umístěn v 1. nadzemním podlaží. [1]

Výrobní a skladové prostory musí být vybaveny požárně bezpečnostními zařízeními. Bez ohledu na úroveň vybavenosti a požární riziko musí být v obvodových stěnách těchto úseků požární pásy dostatečné šíře. Podlahy objektů musí být chemicky odolné. Kovové konstrukce podlah musí být uzemněny [1].

Tam, kde může dojít k nekontrolovanému rozlití hořlavých kapalin, musí být podlahy navrženy tak, aby se zabránilo jejich rozlití [1]:

- mimo místnost, pokud je její půdorysná plocha nejvýše 50 m^2 v nevýrobních objektech nebo 100 m^2 ve výrobních objektech, nebo
- v nevýrobních objektech u místností větších než 50 m^2 musí být podlahy členěny tak, aby rozlitá kapalina nepřesáhla plochu 50 m^2 ,
- ve výrobních objektech u místností větších než 100 m^2 musí být podlahy členěny na části o ploše nejvýše 500 m^2 , např. přepážkami tvořenými zvýšenými pásy podlah apod.

Podlaha částečně uzavřeného skladu, který je přistavěn k objektu jiného účelu, musí mít sklon směrem od tohoto objektu. [1]

Při hodnocení požárně nebezpečných prostorů a odstupových vzdáleností u skladů se vždy stanoví velikost požárně otevřených ploch (výfukové plochy se považují za požárně otevřené plochy) a vychází z předpokladu, že [1]:

- požár je v rozsahu jedné jímky, pokud je zabráněno rozšíření požáru,
- posuzují se všechny jímky skladu, a to buď jednotlivě, nebo ve skupinách (současný požár více jímek),
- požár je v rozsahu jedné místně dvouplášťové nádrže.

Požárně otevřená plocha je určena [1]:

- délkou (l) jímky, součtem délek skupiny jímek, délkou či průměrem místně dvouplášťové nádrže, délkou plochy, na které odhořívá rozlitá hořlavá kapalina;
- výškou (h_u), výška od horní hrany jímky, úrovně skladovaných výrobků, úrovně odhořívající kapaliny, nejvyšší možné úrovně kapaliny v nádrži;
- hustotou tepelného toku.

Požárně nebezpečný prostor a odstupová vzdálenost se nestanoví u dvouplášťových nádrží a u podzemních nádrží. [1]



Bezpečnostní pásma se stanovují u skladových (výrobních) prostorů od okraje požárního úseku s plochou větší než $10\,000\text{ m}^2$ (5000 m^2) a/nebo od okraje havarijní jímky větší než 500 m^3 (100 m^3). Bezpečnostní pásma se stanovují jen pro hořlavé kapaliny I. třídy nebezpečnosti (pro nízkovroucí hořlavé kapaliny). Nemusejí se stanovovat u skladových prostorů opatřených stabilním samočinným hasicím zařízením. [1]

Při určení uvolněného tepla sdíleného prouděním Q [kW] se vychází z rovnice $k \cdot t_v$, kde je $k = 0,065$ pro I. třídu, $k = 0,045$ pro II. třídu a $k = 0,022$ pro III. a IV. třídu nebezpečnosti hořlavých kapalin a t_v je doba [s] do zásahu jednotek požární ochrany. V případech, kde plocha odhořívajících kapalin je omezena (např. havarijními jímkami), určí se uvolňované teplo sdílené prouděním podle největší odhořívající plochy v době začátku zásahu jednotek požární ochrany. [1]

Požadavky na požární odolnost konstrukcí se stanoví podle stupně požární bezpečnosti požárního úseku skladu. Jednopodlažní skladové haly, navržené jako solitérní, nemusí vykazovat požární odolnost, pokud jsou v dostatečné odstupové vzdálenosti. [1]

2.6 SPECIFICKÉ POŽADAVKY NA SKLADOVÉ PROSTORY

Pokud jsou vstupy do podzemních nádrží tvořeny šachtami, musí mít nejmenší půdorysný rozměr alespoň 1 m. [1]

Od pláště podzemní nádrže musí být nejmenší vodorovná vzdálenost [1]:

- | | |
|---|--------|
| a) k jiné podzemní nádrži | 0,8 m, |
| b) k nejbližší stavební konstrukci, nebo k vodovodnímu potrubí, nebo ke stokám a kolektorům | 1,0 m, |
| c) k topárenským zařízením | 2,5 m, |
| d) k hranici pozemku | 3,0 m, |
| e) k podzemnímu kabelu vysokého nebo velmi vysokého napětí | 3,0 m, |
| f) k podzemnímu potrubnímu rozvodu hořlavých plynů | 4,0 m, |
| g) k plášti nadzemní nádrže s objemem do 50 m^3 | 3,0 m, |
| h) k plášti nadzemní nádrže s objemem větším než 50 m^3 | 5,0 m. |

Podzemní prostory pro obsluhu musí být opatřeny nouzovými východy tak, aby vzdálenost mezi dvěma sousedními nebyla větší než 50 m. Musí být nepropustné a odolné proti působení vody i skladovaných kapalin, případně podpořeny sběrnou jímkou. Nouzový východ s navazujícím komunikačním prostorem (např. šachtou) tvoří samostatný požární úsek oddělený stavebními konstrukcemi. Musí být umístěn mimo požárně nebezpečný prostor sousedních objektů, jinak musí mít vstupní otvor uzávěr s dostatečnou požární odolností. [1]

2.7 VĚTRÁNÍ VÝROBNÍCH A SKLADOVÝCH PROSTORŮ

Je třeba zajistit alespoň šestinásobnou výměnu vzduchu za hodinu (provozní větrání). V prostorech, kde se vyskytují hořlavé kapaliny I. a II. třídy nebezpečnosti, musí být zajištěno havarijní větrání s desetinásobnou výměnou vzduchu za hodinu. Provozní ani havarijní větrání nenahrazuje požární samočinné odvětrávací zařízení. [1]

Dostatečným může být přirozené větrání. Přirozené větrání pro hořlavé kapaliny I. a II. třídy nebezpečnosti s výpary lehčími (těžšími) než vzduch může být zajištěno otvory pro



přívod čerstvého vzduchu o velikosti nejméně 1 % podlahové plochy, umístěnými nejvýše 0,15 m nad úrovní podlahy (co nejbližší pod stropem), a odváděcími otvory o velikosti 1,3 % podlahové plochy, umístěnými co nejbližší pod stropem (nejvýše 0,15 m nad úrovní podlahy) a pokud možno na protější straně skladu. Předpokládá se teplotní spád vzduchu 1 °C na 1 m výšky mezi přítokovým a odtokovým otvorem. [1]

Pro uzavřené skladovací prostory musí být zajištěna šestinásobná výměna vzduchu za hodinu (provozní větrání) po dobu manipulace, a to nejméně v prostoru manipulace a okolí do vzdálenosti 2 m. Předpokladem tohoto způsobu větrání je trvalé vymezení míst manipulace. Větrací otvory musí být vyústěny do venkovního prostoru, zajistit alespoň dvojnásobnou výměnu vzduchu za hodinu, musí být opatřeny mřížkou a být trvale otevřené s výjimkou topné sezóny, kdy je možno je uzavřít. Musí se však zajistit, že teplota uvnitř skladu v topné sezóně nepřekročí 15 °C. S větracím potrubím vyústěným do prostoru skladu se musí větrat jako výrobní prostor. [1]

Nejmenší vzdálenost vyústění větracích potrubí stabilních nádrží a technologických zařízení, a potrubí od pojišťovacích ventilů musí být pro hořlavé kapaliny I. a II. třídy nebezpečnosti nejméně [1]:

- | | |
|--|--------|
| a) od komínů a jiných vývodů spalin | 5,0 m, |
| b) nad terénem | 3,0 m, |
| c) nad povrchem střešního pláště uzavřeného stavebního objektu | 1,5 m, |
| d) od pochozí lávky | 3,0 m. |

Větrací otvory musí být vizuálně kontrolovatelné. Jakýkoliv možný zdroj iniciace požáru kolem vyústění včetně nadzemních rozvodů elektrického proudu musí být mimo bezpečnostní zóny větracích potrubí. [1]

U společných potrubí, odvádějících páry hořlavých kapalin I. a II. třídy nebezpečnosti musí mít každá větev potrubí nebo každé připojené výrobní zařízení, samostatné zařízení, zabráňující prošlehnutí plamene z jednoho zařízení do druhého. Páry uniklé pojistnými ventily na nádržích navržených jako tlakové nádoby, musí být odváděny do volného prostoru, popř. do zařízení určeného k jejich likvidaci nebo rekuperaci. [1]

Ve skladovací výšce větší než 6 metrů a skladech v podzemních podlažích musí být větrání nucené s nejméně dvojnásobnou výměnou vzduchu za hodinu. Podzemní prostory na hořlavé kapaliny I. a II. třídy nebezpečnosti s přítomností obsluhy delší než 2 hodiny za směnu, musí být (kromě krytů a úkrytů ke kolektivní ochraně obyvatelstva) vybaveny nuceným větráním s detektory par nastavenými na 25 % spodní meze výbušnosti se signalizací do místa trvalé obsluhy. Toto větrání musí mít samostatné elektrické vedení. Požární úseky, v nichž připadá méně než 20 m² půdorysné plochy na jednu osobu s trvalým pracovním místem, se hodnotí z hlediska ohrožení osob zplodinami. Musí být zajištěno dostatečné požární odvětrání tak, aby plyny ohrožující osoby netvořily souvislou vrstvu nacházející se níže než 2,5 m nad nejvyšší úrovní trvalého pracovního místa. Pro uzavřené sklady hořlavých kapalin III. a IV. třídy nebezpečnosti, jsou požadavky na větrání jen doporučené. [1]

Výrobní prostor vybaven detektory úniku par havarijní větrání nepožaduje (kromě provozů s nízkovroucími kapalinami), pokud dojde [1]:



- k samočinnému ohlášení dosažené 10 % koncentrace dolní meze výbušnosti do místa trvalé obsluhy posuzovaného technologického procesu,
- následně ke spuštění provozního větrání místnosti, v níž se dosáhlo nejvýše 20 % koncentrace dolní meze výbušnosti.

Prostory s hořlavými kapalinami, zpracovávány při teplotě alespoň o 10 °C nižší než teplota vzplanutí, detektory nevyžadují. V prostorech s vodou ředitelnými hořlavými kapalinami s obsahem nejméně 50 % vody se provozní větrání nepožaduje. [1]

Jestliže rychlost odpařování hořlavých kapalin I. a II. třídy nebezpečnosti, nepřekročí 5 g/m²min (zanedbatelný výpar), lze větrané výrobní prostory považovat za prostory bez nebezpečí výbuchu. Tento předpoklad však neplatí pro nevětrané jímky, kanály a jiné prostory pod úrovní terénu. [1]

Prostor s nebezpečím požáru zahrnuje výskyt hořlavé kapaliny i včetně možného rozstříku nebo rozlití. Osvětlovací, vytápěcí či jiná tělesa s vyšší povrchovou teplotou, než je bod vzplanutí hořlavých kapalin, musí být odstíněna. [1]

Výrobní prostory, v nichž je stanovena zóna 1 nebo zóna 0 prostředí s nebezpečím výbuchu ve více než 30 % objemu prostoru, musí být opatřeny výfukovými plochami; tento požadavek se netýká prostorů [1]:

- v podzemních podlažích, pokud úroveň terénu neumožňuje volný pohyb plynů z výbuchu,
- zajištěných provozním větráním s vnitřním objemem nejvýše 30 m³,
- strojoven vzduchotechniky určených pro tyto výrobní prostory.

Stavební konstrukce tvořící výfukovou plochu (zpravidla obvodové stěny nebo střechy) se musí vybořit směrem do volného prostoru (vně objektu) při působení kolmého tlaku na tuto plochu nejvýše 0,01 MPa, aniž by byla porušena stabilita a únosnost ostatních stavebních konstrukcí. Prostor s nebezpečím výbuchu musí být od sousedních uzavřených prostorů oddělen stěnou odolávající nejméně dvojnásobku tlaku, při kterém se vyboří výfuková plocha. [1]

Prostor ohrožený výbuchem je vymezen rovnoběžnou plochou, vedenou ve vzdálenosti 15 m od výfukové plochy. Tento prostor musí být trvale volný s výjimkou potrubních mostů s rozvodem hořlavých plynů nebo kapalin, osamocených sloupů a vnitrozávodové dopravy. Vzdálenost 15 m je možno zkrátit za předpokladu, že ve zkrácené vzdálenosti je vybudována překážka s výpočtově prokázanou schopností tlakovou vlnu utlumit nebo odrazit do volného prostoru. [1]

Nejmenší velikost výfukových ploch S_v [m²] se stanoví z rovnice [1]:

$S_v = 0,6 \cdot h_s \cdot S^{0,5}$, kde h_s [m] je průměrná světlá výška prostoru s nebezpečím výbuchu, S [m²] je půdorysná plocha prostoru s nebezpečím výbuchu.



3 MOŽNÁ NEBEZPEČÍ A JEJICH NÁSLEDKY

3.1 OBECNÁ PROCESNÍ NEBEZPEČÍ

Obecná procesní nebezpečí (4 primární faktory) významně přispívající k nebezpečnosti většiny procesních jednotek [7]:

A. Manipulace s materiálem a přeprava materiálu

- vznik požáru při manipulaci, přepravě a skladování,

B. Procesní jednotky v uzavřených nebo vnitřních prostorech

- otevřené a dobře větratelné stavební konstrukce - snížení explozivního potenciálu jednotky,
- mechanické větrání není tak účinné, jako otevřená konstrukce,
- sběrače a filtry prachu - umísťovat vně, mimo prostor se zařízením.

C. Přístupnost jednotky = snadný přístup záchranných vozidel do prostoru jednotky

- přístupnost alespoň ze dvou směrů (minimální požadavek),
- alespoň jeden přístup musí být ze silnice / vozovky.

D. Drenáž, odvodnění, zabezpečení proti přetečení

- možnost rozlití nebo úniku velkého množství hořlavé nebo zápalné kapaliny (které se zadrží v blízkosti procesního zařízení).

3.2 SPECIÁLNÍ PROCESNÍ NEBEZPEČÍ

Faktory zvyšující pravděpodobnost vzniku havárie (12 faktorů) [7]:

A. Toxické materiály/látky

Toxické látky komplikují zásah zachraňujících osob a tím snižují schopnost pátrat a zmírňovat škodu během nehody.

B. Podtlak - subatmosférický tlak

- možnost průniku vzduchu do systému,
- nebezpečí - při kontaktu vzduchu s mlhou nebo při kontaktu citlivého materiálu s kyslíkem.

C. Provoz uvnitř nebo v blízkosti rozsahu hořlavosti

- nebezpečné podmínky pro hořlavé a zápalné kapaliny

D. Výbuch prachu

Čím jemnější je prach - tím větší je nebezpečí z důvodu rychlého přírůstku tlaku a maxima tlaku, kterého se dosáhne.



E. Otevírací tlak pojišťovacího ventilu

Vyšší provozní tlak než atmosferický zohledňuje větší uniklé množství netěsností/otvorem. Důvodem je možnost poruchy některého prvku procesní jednotky mající za následek únik hořlavých látek.

F. Nízká teplota

Příspěvek k posouzení možné křehkosti uhlíkaté oceli nebo jiných kovových materiálů, které mohou být vystaveny přechodové teplotě křehnutí nebo teplotám nižším.

G. Množství hořlavého/nestabilního materiálu

Přídavné ohrožení plochy větším množstvím hořlavého a nestabilního materiálu v procesní jednotce:

- a. kapaliny nebo plyny v procesu,
- b. skladování kapalin nebo plynů v zásobnících (mimo proces),
- c. zápalné (hořlavé) pevné látky v zásobnících / prachový materiál v procesu.

H. Koroze a eroze

Ačkoliv správná konstrukce bere v úvahu vliv koroze a eroze, přesto se objevují u jistých procesů stále problémy s korozí/erozí.

I. Netěsnosti spojů a těsnění

Těsnění spojů a ucpávky hřídelů mohou být zdrojem úniků hořlavých nebo vznětlivých materiálů, zejména pokud jsou zatíženy tepelnými a tlakovými cykly.

J. Použití zařízení s otevřeným ohněm

Přítomnost zařízení s otevřeným ohněm v procesu zvyšuje pravděpodobnost zapálení hořlavých kapalin, plynů nebo hořlavého prachu, pokud dojde k jejich úniku.

K. Výměníky s horkým olejem

Většina teplotnosných médií v olejových výměnících tepla je hořlavá a pracovní teplota olejové náplně je velmi často vyšší, než je bod vzplanutí nebo bod varu. Taková látka zvyšuje nebezpečí v kterémkoliv procesní jednotce, kde je použita.

L. Rotační stroje

Ačkoliv není stanoveno pravidlo pro oceňování všech typů a velikostí rotačních zařízení, existují statistické údaje, které naznačují, že čerpadla a kompresory od určité velikosti pravděpodobně přispívají k nehodovosti.

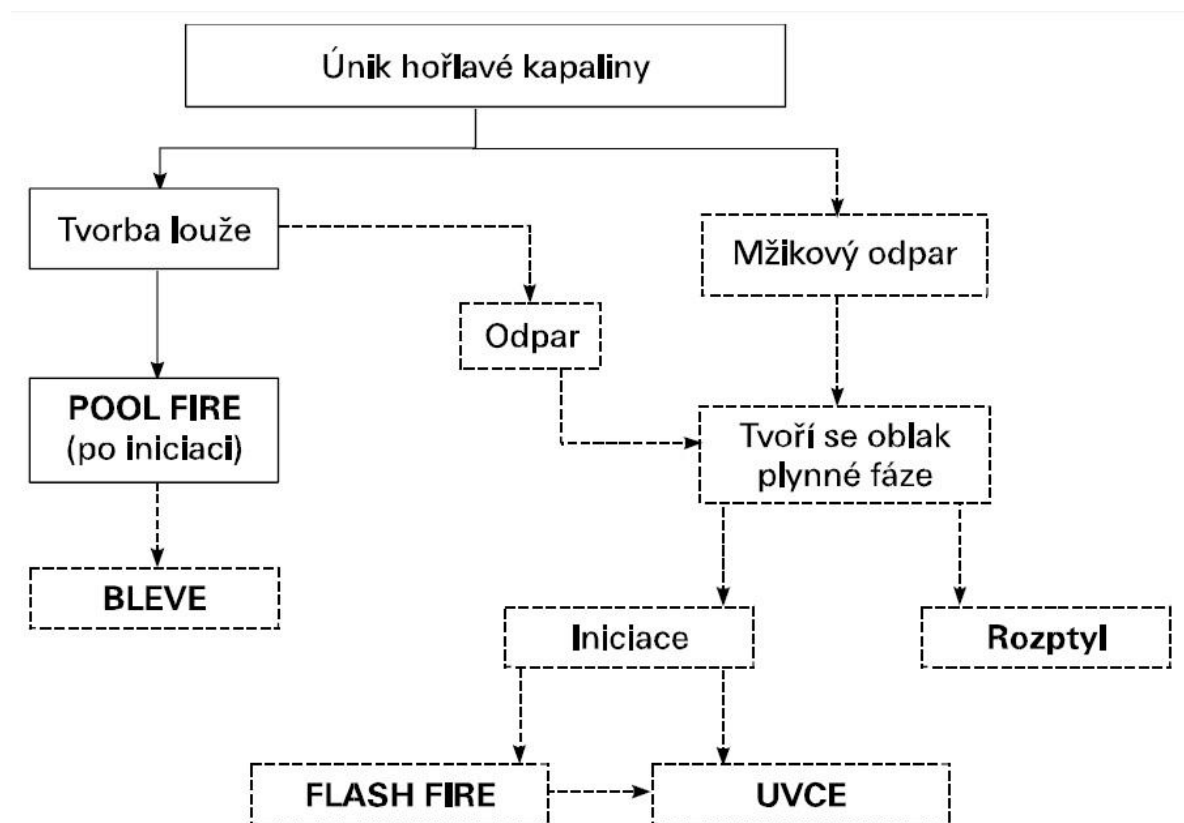
3.3 ROZVOJ HAVÁRIE PŘI ÚNIKU NL DO VOLNÉHO PROSTORU

Scénář rozvoje havárie při úniku hořlavé kapaliny je uveden v obrázku č. 3.3. Při úniku hořlavé kapaliny, dochází k vytvoření louže hořlavé látky k jejímu zahoření, tzv. plošný požár



(POOL FIRE), charakterizovaný relativně dlouhodobým tepelným tokem působícím na okolí. [5]

Pokud je unikající látkou zkapalněný uhlovodíkový plyn (např. LPG), dochází po úniku k mžikovému odparu kapaliny (zkapalněného plynu), tvoří se oblak plynu, který po iniciaci může přejít do FLASH FIRE nebo do exploze UVCE. Působením předcházejícího požáru (POOL FIRE) může dojít ke speciálnímu případu havárie, jednorázovému vzkypění obsahu zásobníku (BLEVE). To vede ke vzniku “ohnivé koule” ve vznosu obsahující kapalnou i plynnou složku obsahu zásobníku, přičemž povrch koule intenzivně hoří. Při požáru BLEVE vzniká vysoký tepelný tok sálavého tepla ohrožující okolí po dobu existence “ohnivé koule”. [5]



Obr. č. 3.3: Scénář rozvoje havárie při úniku hořlavé kapalně látky. Tečkovaně je vyznačen rozvoj havárie typický pro zkapalněné hořlavé plyny.

3.4 ROZVOJ HAVÁRIE PŘI ÚNIKU NL DO VNITŘNÍHO (UZAVŘENÉHO) PROSTORU

Únik hořlavé látky a její hoření v uzavřeném prostoru se projevuje, kromě působení sálavé složky tepla, i odebráním kyslíku pro hoření ze vzduchu a tvorbou zplodin hoření, případně vytěsnění vzduchu při velkém úniku. Uvedené faktory mohou být významně nebezpečné obsluze uvnitř objektů. Hoření uvnitř objektů je však velmi závislé na dostupnosti oksyličovadla (vzduchu), takže vytěsnění vzduchu omezuje další rozvoj havárie. [5]

Možné scénáře rozvoje havárie při úniku látky schopné výbuchu uvnitř objektu probíhají za odlišných podmínek v porovnání s únikem ve volném prostoru. Pro explozivní projev je nezbytné výskyt látky v koncentračním rozmezí mezi dolní a horní mezí výbušnosti. Projevy účinků po iniciaci potom závisí na fyzikálně-chemických vlastnostech látky a



geometrickém uspořádání uzavřeného objektu. Pokud nejsou splněny podmínky pro přechod hoření do detonace v uzavřeném prostoru, dojde k explozivnímu hoření se vznikem tlakové vlny spojitého charakteru. Při splnění podmínek dojde ke vzniku rázové vlny s výraznými destrukčními projevy na objekt a okolí. [5]

3.5 CHARAKTER A DŮSLEDKY NEHOD

Přes různost příčin jsou si samotné principy nehod souvisejících s kapalnými uhlovodíky i způsob jejich rozvoje podobné. Nehody ve skladech a výrobních kapalných uhlovodíků jsou charakterizovány [6]:

- a) velkou rychlostí šíření požáru,
- b) velkou intenzitou hoření spojenou s vývinem značného množství tepla a vysokou teplotou plamene,
- c) intenzivní výměnou plynů a uvolňováním velkého množství zplodin hoření,
- d) možností výbuchu,
- e) nebezpečím rozšíření požáru do okolních prostor; při postupující degradaci sousedních nádrží s hořlavými kapalinami může intenzita hoření skokově narůstat,
- f) možností šíření požáru roztékáním hořících kapalin (sklon terénu, konstrukcí apod.),
- g) nebezpečím úniku nebezpečných látek (samotné hořlavé kapaliny, vznikající toxické zplodiny hoření, odpadní vody při hašení a po něm).

Závažná havárie způsobená nebezpečnou látkou mohou vést k jedné nebo více z následujících událostí [6]:

- a) úmrtí,
- b) zranění,
- c) poškození objektu nebo zařízení původce závažné havárie,
- d) poškození majetku mimo objekt nebo zařízení původce havárie,
- e) poškození jednoho nebo více obydlí mimo objekt nebo zařízení, které se v důsledku havárie stalo neobyvatelné,
- f) nutnost provedení evakuace nebo ukrytí osob v budovách,
- g) přerušení dodávky pitné vody, elektrické a tepelné energie, plynu nebo telefonního spojení,
- h) ekologická újma:
 - zvláště chráněná území, vodní zdroje, a zdroje minerálních vod,
 - ostatní území,
 - vodní toky,
 - umělý nebo přirozený útvar povrchové vody,
 - horninové prostředí, místo jímání nebo akumulace podzemních vod,
 - podzemní vody.



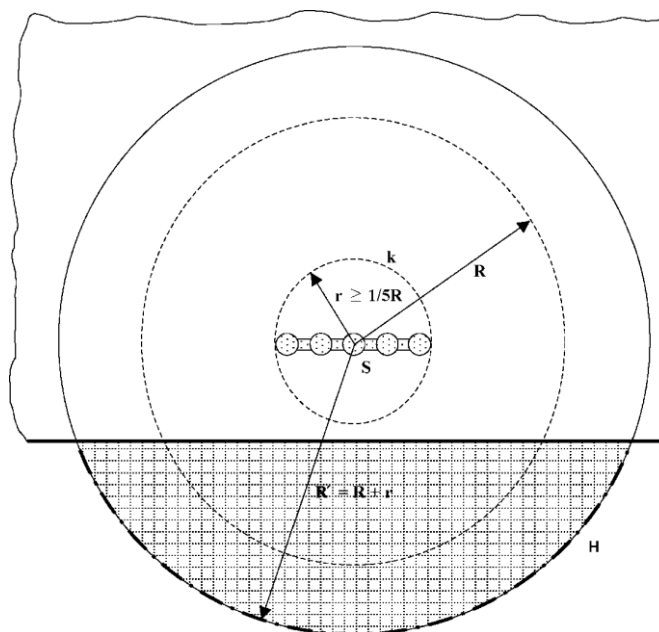
4 PRAKTICKÁ ČÁST

4.1 VYMEZENÍ HAVARIJNÍ ZÓNY

Vymezení havarijní zóny se provádí při havarijním plánování v podniku s cílem identifikovat vznik mimořádné události, plánovat, organizovat a kontrolovat opatření a postupy prevenci, zabezpečovat přípravu k řešení mimořádných situací. Provádí se pomocí referenčního čísla přiřazeného nebezpečné látce, nebo zdrojům rizika za účelem zjištění parametru R . Parametrem R je minimální poloměr pro stanovení výchozí hranice. [4]

Výchozí hranice se určí [4]:

- a) jako kružnice soustředná s nejmenší kružnicí opsanou kolem půdorysného průmětu zdroje rizika,
- b) s použitím nejvyššího parametru R , zahrnuje-li zdroj rizika různě nebezpečné látky,
- c) zvětšením parametrů R o poloměr nejmenší kružnice opsané kolem půdorysného průmětu zařízení, pokud je tento poloměr větší nebo roven $1/5$ parametru R , vzor na obrázku č. 3.1,
- d) jako hranice sjednocení více půdorysných ploch nachází-li se na území, na kterém je zpracováván vnitřní havarijní plán, více zdrojů rizik jednoho nebo více provozovatelů.



Obrázek č. 4.1 [4]

Je-li výchozí hranice shodná nebo menší než plocha, pro které je zpracováván vnitřní havarijní plán, zóna havarijního plánování se nestanovuje. Výsledná hranice se stanoví podle místních urbanistických, terénních, demografických nebo klimatických poměrů, případně dalších faktorů hodných zřetele.

4.1.1 STANOVENÍ HAVARIJNÍ ZÓNY – PŘÍKLAD

V této části stanovení havarijní zóny v závislosti na množství a druhu látky je zvolen benzín a LPG. Je určeno referenční číslo dle [4] a provedeno grafické znázornění na obrázku 4.1.1.



Parametry pro benzín – určení referenčního čísla [4]:

- hořlavá kapalina,
- skladování v hlavním skladu, zásobník s jímkou,
- tlak nasycených par $\geq 0,03$ Mpa při 20°C.

Parametry pro LPG – určení referenčního čísla [4]:

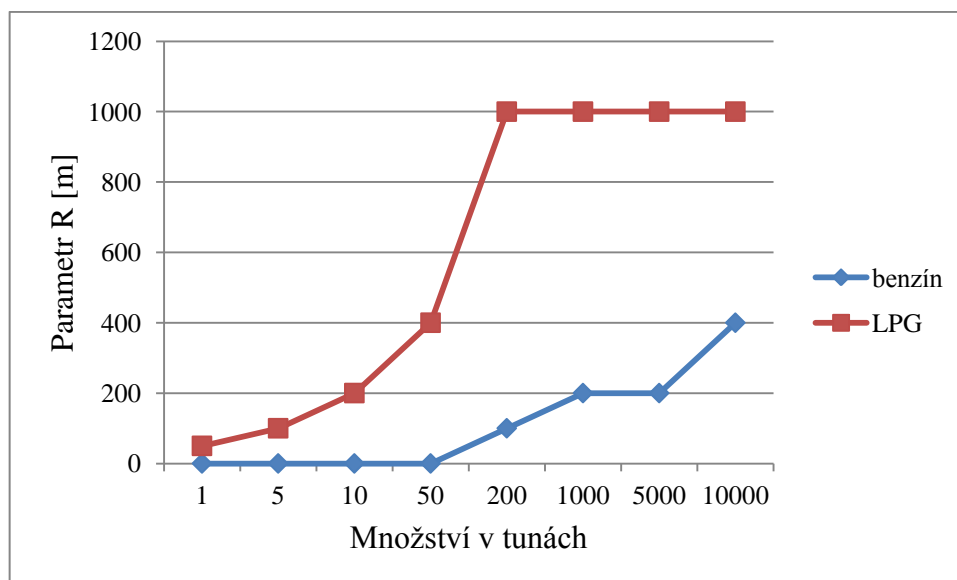
- hořlavý plyn zkapalněný tlakem,
- skladování v hlavním skladu, nadzemní zásobník.

Tabulka 4.1.1: Stanovení referenčního čísla. [4]

Referenční číslo dle:	LPG	benzín
Druhu látky	7 až 9	4 až 6
Skladování	7	4
Druhu činnosti	7,9,10,11	4,6
Výsledné referenční číslo	7	4

Tabulka č. 4.1.2: Hodnoty parametru R v závislosti na množství. [4]

Referenční číslo	Množství v tunách								
	0,2-1	1 -5	5-10	10-50	50-200	200-1000	1000-5000	5000-10000	>10000
4	-	-	-	-	-	100	200	200	400
7	-	50	100	200	400	1000	-	-	-

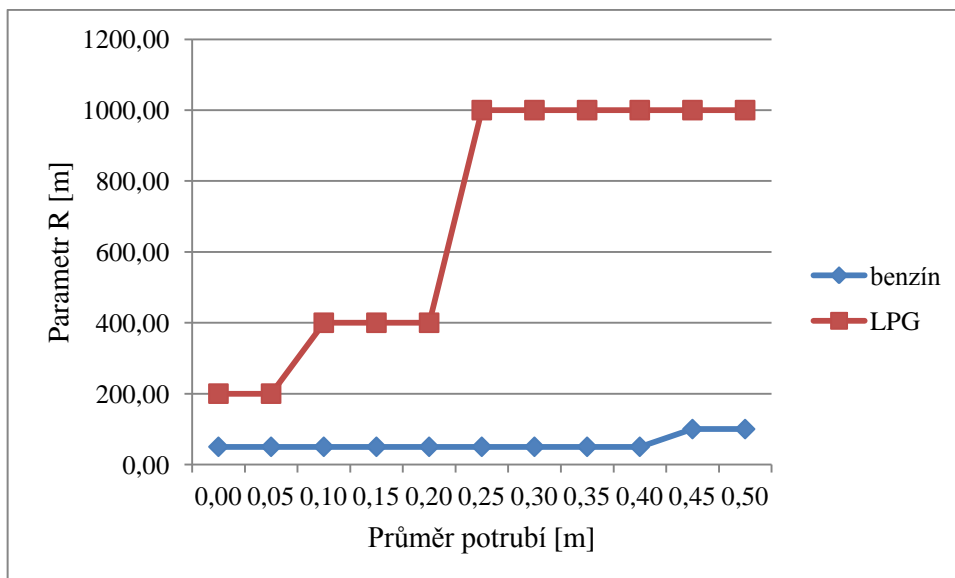


Obrázek 4.1.1: Hodnoty parametru R v závislosti na množství.

V druhé části příkladu je zobrazena závislost velikosti dopravního potrubí na průměru havarijní zóny (parametru R).

Tabulka č. 4.1.3: Hodnoty parametru R v závislosti na průměru potrubí. [4]

Typ látky	Údaje k látce	Průměr potrubí [m]	Parametr R [m]
Benzín	Tlak nasycených par (20 °C) $\geq 0,03$ MPa	0,2-0,4	50
		$>0,4$	100
LPG	Zkapalněný (tlakem)	$<0,1$	200
		0,1-0,2	400
		$>0,2$	1000



Obrázek č. 4.1.2: Hodnoty parametru R v závislosti na průměru potrubí.

Pro lepší názornost je schodovitou grafu, způsobenou nedostatečně podrobným zdrojem, nahrazena lineárně rostoucím průběhem. Pro oblast s chybějícími daty je ponechána konstantní hodnota parametru R , vypovídající je především oblast růstu parametrů. Výsledkem zobrazení grafů je naprosto markantní rozdíl velikostí zasažených oblastí při havárii LPG a benzínu.

4.2 URČENÍ SPOLEČENSKÉHO RIZIKA

K určení společenského rizika je použita metoda IAEA - TECDOC – 727.

Platí podmínky dle [7]:

- Pro odhad pravděpodobností a následků se berou do úvah jenom nejdůležitější faktory (např. hustota populace, bezpečnost dopravy, frekvence naplňování a vypouštění atd.),
- Uvažuje se 100% úmrtnost v zasažené oblasti (oblast vlivu fyzikálního efektu nebo účinku toxické látky (obvykle lze očekávat 50-100% úmrtnost)),
- Vně zasažené oblasti se neuvažují smrtelné případy.

Použitelnost metody dle [7]:

- Stanovení předběžného obecného kvantitativního přehledu o různých zdrojích,
- Společenského rizika ve větší průmyslové oblasti,
- Stanovení priorit u rozdílných zdrojů rizika pro další podrobnější analýzu,
- Výsledky dosažené uvedeným postupem mohou být použity jenom jako relativní údaje, nelze je používat jako hodnoty absolutní.

4.2.1 ODHAD NÁSLEDKŮ HAVÁRIE – PŘÍKLAD

Skladovací stanice obsahuje 500 tun benzínu, jedná se o skladovací nádrž se záchytnou jímkou. Městská část by mohla být zasažena velkou havárií, hustota obyvatelstva je přibližně 20 obyvatel na hektar. Nejkratší vzdálenost městské části od skladovací stanice je 20 metrů.



Městská část se rozprostírá až do vzdálenosti 500 metrů od stanice. Osídlená část představuje asi 50 % plochy vymezené okruhem 500 metrů.

Postup dle [9]:

1. sklad benzínu se záchytnou jímkou (ref. číslo 4),
2. pro 500 tun - kategorie následků BI,
3. pro kategorii následků BI:
maximální ovlivněná vzdálenost: 50 m, ovlivněná oblast: $A = 0,8$ ha,
4. protože máme jenom přibližné informace, použijeme pro odhad korekčních faktorů:
 - a. hustota populace v oblasti $d = 20$ obyvatel/ha,
 - b. korekční faktor zohledňující rozložení obyvatelstva v zasažené oblasti: $f_A = 0,5$ (jedná se ovlivněnou oblast kategorie I, plocha obydlené části představuje 50% oblasti, kruhu o poloměru 500 m),
 - c. korekční zmírňující faktor: $f_m = 1$ (hořlavá látka, reference 4).

Stanovení ztrát [9]: $C_{a,s} = A \cdot d \cdot f_A \cdot f_m = 0,8 \text{ (ha)} \cdot 20 \text{ (obyvatel/ha)} \cdot 0,5 \cdot 1 = 8$ fatálních zranění.

Pro porovnání s LPG stejného množství a ve stejné lokalitě, skladované v 5000 lahvích, sklad vybaven požární stěnou a sprinklery (postup je obdobný):

$C_{a,s} = A \cdot d \cdot f_A \cdot f_m = 3 \text{ (ha)} \cdot 20 \text{ (obyvatel/ha)} \cdot 0,5 \cdot 0,1 = 3$ fatální zranění. Výrazně se projevilo snížení počtu obětí díky skladování v lahvích (postupný nástup havárie, korekční faktor $f_m = 0,1$).

4.2.2 ODHAD PRAVDĚPODOBNOSTI HAVÁRIE - PŘÍKLAD

Odhad pravděpodobnosti je proveden na totožném zadání jako příklad předchozí. Frekvence plnění a stáčení je 100x/rok. Management má podprůměrné provozní zkušenosti/praxe.

Postup dle [9]:

- a) základní pravděpod. číslo $N_{i,s}^* = 7$,
- b) údaj plnění/stáčení $n_l = -1$,
- c) korekční faktor skladování hořlavých plynů neuvažujeme $n_f = 0$,
- d) hodnota korekčního faktoru pro management $n_o = -0.5$,
- e) korekční faktor zohledňující rozmístění populace uvnitř kruhové oblasti a pravděpodobnost jistého směru větru $n_p = 0$ (ovlivněná oblast kategorie I).

Odhad frekvence výskytu události [9]: $N_{i,s} = N_{i,s}^* + n_l + n_f + n_o + n_p = 7 - 1 + 0 - 0.5 + 0 = 5,5$

což představuje po zaokrouhlení 10^{-6} události / rok.

Pro porovnání s LPG stejného množství a ve stejné lokalitě, skladované v 5000 lahvích, sklad vybaven požární stěnou a sprinklery (postup je obdobný):

$$N_{i,s} = N_{i,s}^* + n_l + n_f + n_o + n_p = 4 + 0 + 0,5 - 0,5 + 0 = 4$$

což představuje po zaokrouhlení 10^{-4} události / rok.



5 OPATŘENÍ K ZABRÁNĚNÍ VZNIKU HAVÁRIÍ A NEHOD

Kapalné uhlovodíky jako i veškeré ropné produkty jako motorová nafta, benzíny, topné oleje apod. tvoří při odpařování páry, které se vzduchem tvoří nebezpečné výbušné směsi. Výbušnost směsí par hořlavých kapalin se vzduchem je určována poměrem objemových množství par a vzduchu. [2]

Pro tyto látky jsou stanoveny meze výbušnosti. Dolní mez výbušnosti udává spodní hladinu objemové koncentrace par kapaliny ve směsi se vzduchem, kdy tato směs při vnější iniciaci začíná vybuchovat. Horní mez je dána spodní hladinou objemové koncentrace vzduchu ve směsi s parami kapaliny, kdy je tato směs ještě výbušná. [2]

Při řešení ochrany a zabezpečení zařízení je nutné vycházet z nutnosti prevence vzniku výbuchu / vyhoření výbušné / hořlavé směsi a iniciace / zapálení výbušné / hořlavé směsi. [2]

5.1 OPATŘENÍ K ZABRÁNĚNÍ VZNIKU VÝBUŠNÉ SMĚSI

Při provozování zařízení a prostorů s nebezpečím výbuchu je nezbytně nutno zajistit zejména [2]:

- a) používání zařízení a ochranných systémů určených / schválených pro použití v prostředí s nebezpečím výbuchu,
- b) dokonalé větrání či naopak zamezení přístupu vzduchu (vzdušného kyslíku či jiného oxidovadla),
- c) účinné odvádění již vytvořené výbušné směsi z místa jejího vzniku / výskytu,
- d) pravidelná či průběžná kontrola obsahu hořlavých plynů a par v ovzduší za současného udržování vlastností prostředí mimo oblast mezi hořlavostí, resp. výbušnosti plyno- / parovzdušné směsi.

Při práci na zařízeních je nutné zabránit vzniku výbušné směsi jejich řádným vyprázdněním, vyčištěním, odpojením od zdroje hořlavých plynů nebo par a zabezpečením. Pro tyto práce musí být předem schválen pracovní postup, zajištěno používání nejiskřivého nářadí, trvalé jištění pracovníků zvenčí a dostupnost prostředků pro případ vzniku požáru / výbuchu (hasební prostředky apod.). [2]

5.2 OPATŘENÍ K ZABRÁNĚNÍ INICIACE VÝBUCHU

Zdrojem iniciace mohou být [2]:

- a) otevřený oheň, hořící nebo rozžhavené těleso,
- b) zvýšená teplota provozního zařízení, tepelné projevy chemických reakcí a mechanického působení (např. tření),
- c) jiskření způsobené nárazy nebo třením,
- d) výboje statické a atmosférické elektřiny,
- e) elektromagnetické a podobné druhy záření,
- f) nevhodná elektrická instalace (či závady na ní).

Iniciaci je možno zamezit [2]:

- a) speciální přípravou a organizací prací, při kterých se používají zdroje iniciace,
- b) omezením ohřevu zařízení pod teplotu vznícení výbušné směsi,



- c) používáním nejiskřivých materiálů,
- d) odstraněním nebezpečných tepelných projevů mechanického působení a chemických reakcí,
- e) používáním ochranných zařízení proti atmosférické a statické elektřině, použitím nejiskřivého nářadí, strojů a zařízení v nevýbušném provedení,
- f) použitím rychle působících prostředků na ochranu odpojení možných elektrických zdrojů iniciace,
- g) omezením výkonu elektromagnetických a podobných zařízení.

5.3 ZÁSADY BEZPEČNÉHO ZACHÁZENÍ S NEBEZPEČNÝMI (HOŘLAVÝMI) LÁTKAMI

5.3.1 ZA BĚŽNÉHO PROVOZU

Dle [2]:

1. Před zahájením jakékoli manipulace nebezpečnými (hořlavými) kapalinami se poučit o jejich charakteru a vlastnostech (např. z bezpečnostního listu chemické látky nebo jiného obdobného dokumentu), včetně ochranných opatření, způsobu zacházení a zásad první pomoci, a prokazatelně se seznámit s místním provozním a bezpečnostním předpisem, s předpisem pro obsluhu technologických i souvisejících zařízení.

2. Používat vhodné osobní ochranné pracovní prostředky (OOPP), přidělené na základě vyhodnocení rizik a konkrétních podmínek na pracovišti zaměstnavatelem.

3. Pokud se bude pracovat s nebezpečnými látkami, zejména hořlavými kapalinami nebo výrobky, které je obsahují, v prostorách nebo místech s možností vstupu nepovolaným osobám, zajistit pracoviště bezpečnostním značením.

4. Při práci v uzavřených prostorách, nádobách, nádržích s výskytem plynů a par zajistit kontrolu další osobou mimo ohrožený prostor a průběžně sledovat koncentrace nebezpečných látek a obsahu kyslíku ve vzduchu.

5. Před zahájením prací vybavit pracoviště dostatečným množstvím asanačních prostředků, prostředků první pomoci a osobních ochranných pracovních prostředků i pro havarijní účely. Při práci v prostorách s nebezpečím výbuchu postupovat podle schváleného postupu práce včetně zajištění pracoviště. Seznámit se s opatřeními na ochranu před výbuchem směsí plynů či par se vzduchem.

6. U jednotlivých strojů a zařízení zajistit dostatečný pracovní a manipulační prostor umožňující bezpečně provádět požadované operace, zkontrolovat funkčnost systému větrání nebo odsávacího zařízení plynů a par a zamezit usazování přelitých hořlavých kapalin ve vybráních a prohlubních strojů a zařízení, případně podlah.

7. Nebezpečné látky skladovat jen na místech k tomu určených, v předepsaném množství a v bezpečných obalech s vyznačením obsahu a zřetelným bezpečnostním značením. Zabránit společnému skladování látek, které spolu mohou nebezpečně reagovat.

8. Textilní materiál nasáklý hořlavými kapalinami ukládat v uzavřených kovových nádobách.



9. Při práci s hořlavými kapalinami vyloučit vznik statické elektřiny a mechanického jiskření, při jejich rozlití okamžitě zhasnout plynové spotřebiče, vypnout elektrický proud, vyhlásit zákaz vstupu nepovolaným osobám, zajistit větrání prostoru a pro asanaci použít vhodné sorpční materiály. Je zakázáno roztírat hořlavé kapaliny na podlaze plastů (nebezpečí výboje statické elektřiny).

10. Nepřechovávat jakékoli nebezpečné látky v obalech běžně používaných na požívatinu, léčiva a krmiva.

11. Všechny nadzemní nádrže, kontejnery a přepravní obaly, v nichž se skladují nebo přepravují hořlavé kapaliny, opatřit bezpečnostními značkami a nápisy, upozorňujícími na jejich obsah (s udáním třídy nebezpečnosti kapaliny).

12. Při zacházení s nebezpečnými látkami jsou důležité následující podmínky:

- a) znalost vlastností používaných látek a vědomí nebezpečí, ohrožení a rizik při práci s nimi, zaškolení pracovníků a odborný dozor nad vykonávanou prací,
- b) dodržování příslušných bezpečnostních předpisů a pokynů, zásad osobní i provozní hygieny a používání OOPP,
- c) správná funkce zabezpečovacích, ochranných a výstražných zařízení,
- d) sledování zdravotního stavu pracovníků, kteří s látkami přicházejí do styku.

5.3.2 V PŘÍPADĚ VZNIKU MIMOŘÁDNÉ UDÁLOSTI

Dle [2]:

1. Událost vyžadující zásah se pokusit zlikvidovat vlastními silami a prostředky.
2. Nezvladatelný požár, výbuch, únik látky hlásit hasičské záchranné službě.
3. Poskytnout první pomoc zasaženým či postiženým osobám.
4. Zjištěné či předpokládané zasažení a postižení osob nezvládnutelné laickou první pomocí hlásit zdravotnické záchranné službě i hasičské záchranné službě (vyprošťování osob).
5. Podle svých možností a schopností spolupracovat se zásahovými složkami při likvidaci události a s vyšetřujícími orgány při vyšetřování jejího průběhu, zdroje a příčin.
6. Všechny nedostatky zjištěné vyšetřováním odstranit, opatření ze závěrů vyšetřování zpracovat do provozních předpisů pracovišť.
7. Dodržovat trvale zásady bezpečného zacházení s nebezpečnými látkami a udržovat technická zařízení s těmito látkami po celou dobu jejich provozu ve stavu schopném bezpečného, spolehlivého a bezporuchového provozu, aby k dalším nežádoucím událostem docházelo co možná nejméně.
8. Každou, i sebemenší událost (drobný úraz, nevolnost, „skoronehodu“), vzniklou při práci s nebezpečnými látkami, evidovat, zjišťovat její zdroj a důsledně vyšetřit její příčiny.



5.4 ZÁKLADNÍ PRINCIPY BEZPEČNOSTNÍCH OPATŘENÍ – DOPORUČENÍ

Nejdůležitější konkrétní nástroje umožňující zmenšit pravděpodobnost nehod ve skladech kapalných uhlovodíků, stanoveny na základě vyšetřování havárií [8]:

- a) Pečlivá analýza rizik s analýzou úrovně integrity bezpečnosti a analýzou vrstev ochrany,
- b) Analýza vlivu lidského činitele na zařízení,
- c) Automaticky odstavující sklad při dosažení kritických hodnot vybraných parametrů,
- d) Systém sledování hodnot klíčových parametrů (především polohy hladiny) s dostatečnou redundancí klíčových měřicích obvodů,
- e) Zálohování napájení klíčových měřicích obvodů a galvanické oddělení měřicího systému,
- f) Ochranné prvky pro omezení eskalace nehody (detektory, skrápění, kamery),
- g) Bezpečné odvedení kapaliny při přeplnění nádrže (nádrží),
- h) Druhý a třetí kontejnment, dostatečně dimenzované jímky,
- i) Dostatečná jímací kapacita pro hasební vodu,
- j) Dostatečné odstupové vzdálenosti mezi nádržemi,
- k) Vybavení velínů a pracovišť obsluhy,
- l) Dobrá kultura bezpečnosti a motivace zaměstnanců.



ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou skladování kapalných uhlovodíků. Jejím konkrétním cílem je rešerše v legislativních předpisech v oblasti dané problematiky, analýza a identifikace rizik, a stanovení vhodné prevence při skladování kapalných uhlovodíků.

Na počátku práce, za úvodem do problematiky, je vytvořen výtah předpisů a legislativně-technických požadavků na skladové prostory a zařízení.

Následně jsou sumarizovány možné příčiny nebezpečí související se skladováním kapalných uhlovodíků. Také je stanoven charakter nehod společně s možnými důsledky.

V poslední části je realizována praktická část zaměřená na havarijní zóny a určení společenského rizika. V závislosti na různých kritériích a druhu láky jsou určeny havarijní zóny a pro názornost graficky vyobrazené výsledky. Určení společenského rizika sestává z výpočtu pravděpodobnosti havárie a možných ztrát na životech. Vše je přehledně ukázáno na zvoleném příkladu. Na výsledku jde vidět, že zkapalněný plyn (LPG) přináší větší riziko z pohledu velikosti zasažené zóny a tím i způsobených škod. Ovšem pro případ skladování LPG v lahvích se zvýší šance uniknout havárii, kvůli postupnému nástupu (výbuchy jednotlivých lahví). Také je pravděpodobnější výskyt havárie kvůli náročnému procesu skladování a udržení bezpečných podmínek.

Závěrem jsou určena preventivní opatření proti vzniku nehod a zásady bezpečného chování při práci s kapalnými uhlovodíky.

Zadané cíle práce jsou splněny v plném rozsahu. Bakalářská práce může sloužit široké veřejnosti k seznámení s danou problematikou.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ČSN 65 0201. Hořlavé kapaliny - Prostory pro výrobu skladování a manipulaci. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2003.
- [2] KOCIÁN, František. *Používání chemických látek v čerpacích stanicích pohonných hmot: (bezpečné používání nebezpečných chemických látek a přípravků)*. Vyd. 2. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2008, 1 CD-R. ISBN 978-80-86973-87-6.
- [3] DOSTALÍK, Martin. *Elektrická zařízení v prostředí s nebezpečím výbuchu* [online]. 2010, 2011-01-05 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.jiskrovebezpecne.cz/elektrick.htm>
- [4] Vyhláška č. 103 ze dne 21. března 2006 o stanovení zásad pro vymezení zóny havarijního plánování a o rozsahu a způsobu vypracování vnějšího havarijního plánu. In: *Sbírka zákonů*. 2006.
- [5] KIZEK, Ján. *Prevence vzniku havárií na vysokotlakých a velmi vysokotlakých plynovodech a omezení jejich následků* [online]. 2007, 2010-10-01 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://people.tuke.sk/jan.kizek/bezpe/kap30.pdf>.
- [6] Zákon č. 59 ze dne 2. února 2006 o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky a o změně; zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších podpisů, a zákona č. 320/2002 Sb., o změně a zrušení některých zákonů v souvislosti s ukončením činnosti okresních úřadů, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií). In: *Sbírka zákonů*. 2006.
- [7] BABINEC, František. *BEZPEČNOSTNÍ INŽENÝRSTVÍ, Loss Prevention & Safety Promotion* [online]. Učební text, leden 2005, [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.slu.cz/math/cz/knihovna/ucebni-texty/Analyza-rizik/Analyza-rizik-1.pdf>.
- [8] *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public, 2011, roč. 2011, č. 07. ISSN 1210-9592. Dostupné z: www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=44112.
- [9] BABINEC, František. *ZKRÁCENÁ PŘÍRUČKA PRO KLASIFIKACI A PRIORIZACI RIZIK VELKÝCH HAVÁRIÍ V PROCESNÍM A PŘÍBUZNÉM PRŮMYSLU* [online]. Příručka, únor 2008, [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.risk-management.cz/clanky/prirucka-pro-klasifikaci-a-priorizaci-rizik-velkych-havarii-v-procesnim-a-pribuznem-prumyslu.pdf>.
- [10] II. *Uhlovodíky* [online]. 2008 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://uoch.vscht.cz/cz/studium/bakalar/organika/Velebudice/Velebudice2.pdf>.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	[ha]	ovlivněná oblast
$C_{a,s}$	[osob]	ztráty na životech
d	[osob/ha]	hustota populace oblasti
f_A	[-]	korekční faktor rozložení obyvatelstva v zasažené oblasti
f_m	[-]	korekční zmírňující faktor
h	[m]	výška objektu
h_s	[m]	průměrná světlá výška prostoru s nebezpečím výbuchu
h_u	[m]	výška požárního úseku
k	[-]	koeficient pro třídu nebezpečnosti hořlavé kapaliny
l	[m]	délka požárního úseku
$N_{i,s}^*$	[-]	základní pravděpodobnostní číslo
n_f	[-]	korekční faktor skladování hořlavých plynů neuvažujeme
$N_{i,s}$	[-]	pravděpodobnostní číslo
n_l	[-]	údaj plnění/stáčení
n_o	[-]	korekčního faktoru pro management
n_p	[-]	korekční faktor rozmístění populace a směru větru
Q	[kW]	uvolněné teplo sdílené prouděním
R	[m]	minimální poloměr pro stanovení výchozí hranice havarijní zóny
S	[m ²]	půdorysná plocha prostoru s nebezpečím výbuchu
S_v	[m ²]	nejmenší velikost výfukových ploch
t_v	[s]	dobu do zásahu požárních jednotek
$\varnothing d$	[m]	průměr nádrže